

I.T.R.M.L.M.  
B.P. 30  
Papeete - Tahiti

D.R.S.T.O.M.  
B.P. 529  
Papeete - Tahiti

ESTIMATION DES PARAMETRES DEMOGRAPHIQUES D'UNE  
POPULATION PAR LE MODELE DE JOLLY-SEBER

PROGRAMME BASIC D'APPLICATION

F. LARDEUX

Janvier 1988

Référence ITRMLM : 3 / 88 / ITRM / Doc-Ent.

## PLAN

### INTRODUCTION

#### 1 - LE MODELE DE JOLLY-SEBER

1.1 - Protocole expérimental

1.2 - Hypothèses de départ

1.3 - Estimations

13.1 - Notations

13.2 - Estimations

13.3 - Calcul des estimations - propriétés des estimateurs

#### 2 - LE PROGRAMME INFORMATIQUE

2.1 - Description générale

2.2 - Opérations sur les fichiers

2.3 - Calcul des paramètres

2.4 - Mises en garde

### CONCLUSION

ANNEXE : Listing du programme

## INTRODUCTION

L'estimation des paramètres démographiques d'une population animale peut faire appel à des techniques de marquage - recapture. Parmi celles-ci, la méthode de JOLLY-SEBER (JOLLY, 1965 ; SEBER, 1965) est largement utilisée. C'est la généralisation aux populations ouvertes de la méthode des captures répétées (SCHNABEL, 1938) utilisée pour des populations fermées. Une population est dite ouverte lorsque, durant la période d'étude, peuvent intervenir la mortalité, le recrutement, l'immigration et l'émigration permanente d'individus (les animaux intègrent et quittent la population seulement une fois). La méthode suppose donc de prélever  $S$  échantillons de taille  $n_i$  ( $i=1, \dots, s$ ), dont  $R_i$  ( $i=1, \dots, s$ ) individus sont marqués spécifiquement et relâchés. Le modèle permet donc de tenir compte de morts accidentelles au cours du marquage et inclue aussi le cas des exploitations commerciales où  $R_i = 0$  (c'est à dire où les échantillons sont retirés totalement de la population).

Des programmes informatiques incluant parfois des modifications au modèle de base de JOLLY-SEBER ont été développés par différents auteurs : DAVIES (1971), WHITE (1971 a, b), ANDERSON et al. (1974), BROWNIE et al. (1978), ARNASON et BANIUK (1978)... Ces programmes sont parfois très complets mais difficiles à mettre en oeuvre rapidement et simplement sur un micro ordinateur.

Le programme présenté ici se veut donc simple dans son installation et son utilisation. Il est l'application directe des travaux de JOLLY et SEBER. Programmé en un BASIC minimum, son utilisation sur différentes machines est donc possible et il est facilement modifiable en fonction des contraintes de chaque utilisateur.

### 1 - LE MODELE DE JOLLY-SEBER

#### 1.1 - Protocole expérimental

On suppose donc  $S$  occasions d'échantillonnage, au cours desquelles les animaux sont capturés. A la première occasion, il n'y a pas, bien sur, d'animaux marqués dans l'échantillon, ni dans la population. A la dernière occasion, les animaux ne sont pas marqués mais sont juste capturés. Pour toutes les autres occasions, on compte les animaux déjà marqués antérieurement (en notant leur "histoire" de capture), on marque les animaux non marqués et on relâche l'ensemble de l'échantillon (après avoir éventuellement dénombré les individus morts au cours des manipulations). Les marques sont différentes à chaque occasion de capture.

D'une manière plus algébrique, on a, pour chaque occasion  $i$  (on garde ici les notations de JOLLY) :

-  $n_i$  animaux capturés.

- si animaux relâchés après la capture  $i$  (ce nombre n'est relevé qu'aux  $S-1$  premières occasions, puisqu'à la dernière, on ne relâche pas les animaux).  $s_i$  doit être inférieur ou égal à  $n_i$ , en raison des pertes (morts) dues aux manipulations de marquage ou de capture.
- $n_{ij}$  animaux ayant l'histoire suivante : animaux capturés dans l'échantillon  $i$  et marqués antérieurement au cours de la capture  $j$  ( $j$  varie donc de 1 à  $(i-1)$ ). Ainsi, si on reprend l'exemple traité par JOLLY, ces valeurs peuvent se ranger selon une matrice ayant l'aspect suivant (seules les premières valeurs sont notées ici) :

$j=$	1	2	3	4
$i= 2$	10			
3	3	34		
4	5	18	33	
5	2	8	13	30

Ainsi, par exemple, 10 des animaux capturés à la deuxième occasion ( $i=2$ ) avaient été marqués à la première occasion ( $j=1$ ).

Ces seules données permettent l'ajustement du modèle de JOLLY-SEBER. On se rend compte cependant que la méthode est lourde à mettre en oeuvre. Elle ne peut donc être utilisée que dans un but scientifique.

### 1.2 - Hypothèses de départ

Les à-priori du modèle sont les suivants :

- Chaque animal de la population, qu'ils soit marqué ou non, a la même probabilité de capture (notée  $p_i$ ) dans l'échantillon  $i$  (sachant qu'il est vivant et dans la population au temps  $i$ )
- Chaque animal marqué a la même probabilité  $\phi_i$  de survivre du temps  $i$  à  $i+1$  et d'être dans la population au temps  $i+1$  (sachant qu'il est vivant et dans la population immédiatement après le  $i$  <sup>ème</sup> lâché ( $i=1,2,\dots,s-i$ ))
- Chaque animal capturé dans l'échantillon  $i$  a la même probabilité  $v_i$  d'être relâché. Ainsi,  $1-v_i$  peut être considéré souvent comme la probabilité d'une mort accidentelle due aux manipulations.
- Les animaux ne doivent pas perdre leur marque et toutes les marques reportées doivent être reconnues.
- Tous les échantillons doivent être "instantanés", c'est à dire que la mortalité, l'immigration et l'émigration doivent être considérés comme négligeables durant la

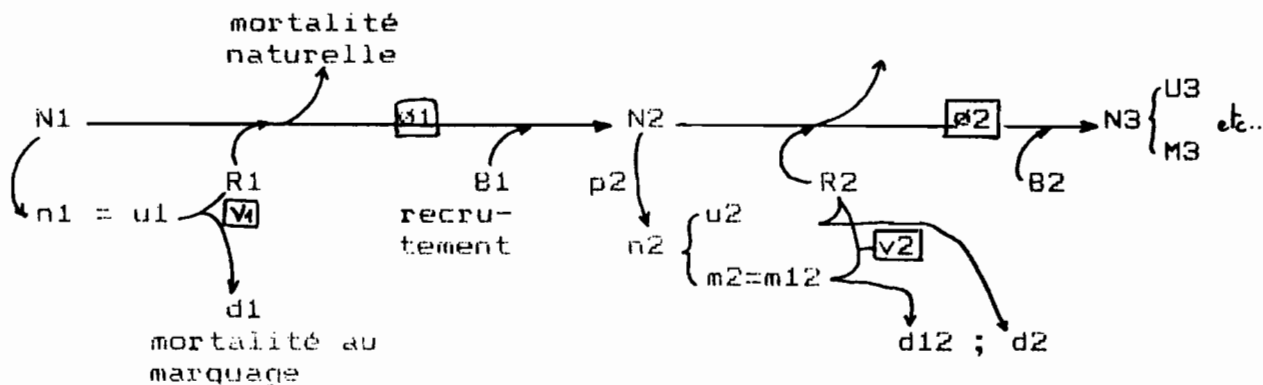
période de capture. En un mot, la durée de l'échantillonnage doit être minime. De même, chaque lâché doit être effectué immédiatement après la capture.

### 1.3 - Estimations

#### 13.1 - Notations

- $t_i$  : instant de la  $i^{\text{ème}}$  capture  
 $N_i$  : effectif de la population avant la  $i^{\text{ème}}$  capture  
 $M_i$  : effectif marqué, avant la  $i^{\text{ème}}$  capture  
 $u_i = N_i - M_i$   
  
 $n_i$  : effectif du  $i^{\text{ème}}$  échantillon  
 $m_i$  : effectif marqué dans le  $i^{\text{ème}}$  échantillon  
 $u_i = n_i - m_i$   
  
 $m_{hi}$  : nombre d'individus pris en  $i$  et qui avaient été pris en  $h$  pour la dernière fois  
 $R_i$  : effectif relâché après la  $i^{\text{ème}}$  capture  
 $r_i$  : nombre d'individus relâchés en  $i$  et recapturés plus tard  
 $z_i$  : nombre d'individus capturés avant  $i$ , pas en  $i$ , après  $i$   
 $B_i$  : recrutement net entre  $i$  et  $i+1$   
 $a_w$  : nombre d'individus capturés, d'histoire  $w$   
 $d_w$  : individus de  $a_w$  non remis dans la population  
 $b_w$  : nombre d'individus d'histoire  $w$  remis dans la population

Le modèle peut donc se schématiser ainsi :



#### 13.2 - Estimations

En se servant de l'histoire  $w$ , on va s'intéresser aux individus marqués qui sont tous issus des  $u_i$  individus non marqués capturés en  $i$ , quelquesoit  $i$ , et qui représente l'ensemble des captures. On cherche alors à exprimer la probabilité d'apparition des  $b_w$  et des  $d_w$  (ou des  $a_w$ , ce qui revient au même).

On pourra se reporter à SEBER par exemple, pour le détail des calculs. Cependant, la probabilité d'apparition des différents bw et dw est si compliquée à manipuler qu'on ne peut utiliser la méthode du maximum de vraisemblance, pour l'estimation des différents paramètres, que dans le cas où il n'y a pas de mortalité pendant le marquage ( $v_i = 1$ , quelquesoit  $i$ ), ce qui pratiquement n'existe jamais. C'est pourquoi, JOLLY a proposé des estimateurs heuristiques, que l'on donne ici (on se reportera à la publication d'origine pour le détail des calculs) :

$$M_i = (R_i \cdot z_i / r_i) + m_i$$

$N_i$  : proportion de marqués, est la même dans la capture que dans la population. D'où  $N_i = n_i \cdot M_i / m_i$

$\phi_i$  : se détermine sur les marqués.  $\phi_i = M_{(i+1)} / (M_i - m_i + R_i)$   
 $\phi_1 = M_2 / R_1$

$$p_i = n_i / N_i$$

$$v_i = R_i / n_i$$

$$B_i = N_{(i+1)} - (N_i - n_i + R_i)$$

### 13.3 - Calcul des estimations - propriétés des estimateurs

$R_i$ ,  $m_i$ ,  $n_i$  sont donnés directement. Seuls sont à calculer  $r_i$ , nombre d'individus relâchés en  $i$  et capturés plus tard, et  $z_i$ , nombre d'individus capturés avant et après  $i$  mais pas en  $i$  :

$$\begin{cases} r_i = \sum_{j=i+1}^A m_{ij} \\ z_{(i+1)} = z_i + r_i - m_{(i+1)} \end{cases}$$

De part leur mode d'estimation, les estimateurs sont biaisés. De plus, partant de l'estimation de  $M_i$  à partir des individus recapturés, les estimateurs sont corrélés et ne peuvent être satisfaisants que si les recaptures sont importantes. On pourra consulter SEBER (1982) pour une analyse détaillée des corrélations entre estimateurs, l'estimation des variances et leur robustesse. Plus récemment, MANLY (1984) a proposé certaines transformations permettant d'obtenir des intervalles de confiance réalistes pour l'estimation de la taille de la population et des probabilités de survie. Je mets au point actuellement la possibilité d'incorporer ces résultats au programme informatique présenté ici.

## 2 - LE PROGRAMME INFORMATIQUE

### 2.1 - Description générale

Le programme proposé ici, écrit en GWBASIC sur un compatible IBM-PC (Goupil 64), permet :

- de créer des fichiers spécifiques au calcul des estimations des paramètres du modèle de JOLLY-SEBER.
- de modifier (corriger) ces fichiers en cas d'erreur de saisie.
- de lister (à l'écran ou sur imprimante) ces fichiers.
- de calculer les estimations des paramètres du modèle, selon les formules publiées par JOLLY.

Le programme a été écrit dans l'optique d'une utilisation la plus conviviale possible : on accède aux diverses options à l'aide de menus. Aucune connaissance en programmation n'est nécessaire pour faire tourner ce programme.

#### Mise en route du programme.

Il suffit de charger le GWBASIC puis de taper RUN "\$\$\JOLSEB1"

\$\$ est le chemin d'accès au programme

JOLSEB1 est le nom du programme

Par exemple :RUN "C:\DYN\JOLSEB1" si le programme JOLSEB1 se trouve sur un disque dur, dans le répertoire DYN  
ou simplement RUN "JOLSEB1" si le programme se trouve dans le même répertoire (ou sur la même disquette) que GWBASIC.

Ensuite, il suffit de suivre les indications portées à l'écran : un premier écran apparaît, indiquant les références des publications source (figure 1). Faites un 'retour-chariot' pour accéder au menu principal.

Le menu général permet de travailler sur les fichiers spécifiques à ce programme, de calculer les estimations des paramètres du modèle ou de terminer la session de travail (fig. 2).

Choisissez simplement le numéro correspondant à l'option désirée et faites un 'retour-chariot'.

### 2.2 - Opérations sur les fichiers

#### 22.1 - Création de fichier.

Lorsqu'on désire créer un fichier, le programme demande tout d'abord le nom du fichier dans lequel seront stockées les données,

PROGRAMME JOLSEB1

Estimation des paramètres d'une population par marquages-recaptures  
selon la méthode de JOLLY-SEBER

---

SOURCE : JOLLY G.M. - 1965 - Explicit estimates from capture  
-recapture data with both death and immigration -  
stochastic model  
Biometrika 52 : 225 - 247

SEBER G.A.F. - 1965 - A note on the multiple recapture  
census  
Biometrika 52 : 249 - 259

PROGRAMME : Frédéric LARDEUX  
Centre ORSTOM - BP 529  
Papeete - Tahiti

Faites un 'retour-chariot' pour continuer ...

FIGURE 1 : ECRAN DE PRESENTATION

PROGRAMME JOLSEB1

Estimation des paramètres d'une population par marquages-recaptures

---

Création de fichier .....	1
Listage d'un fichier .....	2
Corrections dans un fichier .....	3
Estimation des paramètres .....	4
Fin du programme .....	5

NUMERO CHOISI :

FIGURE 2 : MENU GENERAL



avec son chemin d'accès complet. Par exemple, si on désire créer un fichier portant le nom EXP1, dans le répertoire DONNEES du disque dur, il faut entrer la séquence suivante : C:\DONNEES\EXP1

Le programme ajoute automatiquement l'extension .JOL (pour 'Jolly-Seber') au nom du fichier, ce qui permet de repérer facilement sur le disque tous les fichiers créés par le programme. Ainsi, le fichier EXP1 est inscrit sous le nom EXP1.JOL dans le répertoire DONNEES du disque dur C.

Par la suite, lorsque le programme demande un nom de fichier (listage, corrections, calcul des estimations ...), il n'est pas nécessaire de donner l'extension .JOL. Seul le nom sans extension doit être donné. Si l'extension .JOL est donnée par l'utilisateur, il se produit un message d'erreur et le programme doit être relancé.

La figure 3 donne un exemple des questions posées par le programme. Il suffit de suivre les indications données à l'écran. L'exemple de la figure 3 est bâti sur la série de données analysée dans la publication de JOLLY.

Vu le faible nombre de données à saisir, il n'a pas été prévu de système de correction au moment de la saisie. Une erreur pourra cependant être corrigée avec l'option "CORRECTION DANS UN FICHIER" du menu principal (cf. paragraphe 22.3). L'utilisateur doit donc d'abord finir de créer son fichier avant d'utiliser cette option.

Une fois le fichier créé, le programme réaffiche le menu principal.

## 22.2 - Listage d'un fichier.

Comme précédemment, le programme demande le nom du fichier que l'on désire lister. Si l'utilisateur travaille déjà sur un fichier, le programme considère le fichier courant comme fichier à lister : la question posée est "EST CE VOTRE FICHIER DE TRAVAIL (O/N) : ". Répondre O (= oui) ou N (= non). Dans le dernier cas, l'utilisateur peut changer de fichier de travail. Il suffit de répondre à la question apparaissant à l'écran : "NOM DU FICHIER (avec le chemin d'accès complet) : ". On rappelle qu'un nom de fichier ne doit pas être rentré avec son extension .JOL : le programme se charge de la rajouter.

Le listage du fichier se fait à l'écran. Ensuite, on peut sortir ce qui est apparu à l'écran, au niveau de l'imprimante. Il suffit de répondre O à la question : "IMPRESSION SUR IMPRIMANTE (O/N) : ". Un Exemple de sortie est donné à la figure 4.

Une fois le listage terminé, le programme réaffiche le menu général.

## 22.3 - Correction dans un fichier.

La procédure de demande de nom du fichier à corriger est la même que précédemment.

CREATION DE FICHER

Fichier créé : C:\FREDERIC\JOLLY.JOL

1 ..... Nombre d'occasions de capture : 13  
 2 ..... Taille à priori de la population initiale  
 (on peut laisser 0) : 0

CORRECTIONS (O/N) :

Echantillon n° 1  
 Nombre d'animaux capturés : 54  
 Nombre relachés : 54

Echantillon n° 2  
 Nombre d'animaux capturés : 146  
 Nombre relachés : 143

Echantillon n° 3  
 Nombre d'animaux capturés : 169  
 Nombre relachés : 164

⋮  
 ETC  
 ⋮

Echantillon n° 12  
 Nombre d'animaux capturés : 120  
 Nombre relachés : 120

Echantillon n° 13  
 Nombre d'animaux capturés : 142

Dans l'échantillon n° 2 ,  
 Nbre d'animaux appartenant aussi à l'échantillon n° 1 : 10

Dans l'échantillon n° 3 ,  
 Nbre d'animaux appartenant aussi à l'échantillon n° 1 : 3  
 Nbre d'animaux appartenant aussi à l'échantillon n° 2 : 34

⋮  
 ETC  
 ⋮

Dans l'échantillon n° 13 ,  
 Nbre d'animaux appartenant aussi à l'échantillon n° 1 : 0  
 Nbre d'animaux appartenant aussi à l'échantillon n° 2 : 1  
 Nbre d'animaux appartenant aussi à l'échantillon n° 3 : 0  
 Nbre d'animaux appartenant aussi à l'échantillon n° 4 : 2  
 Nbre d'animaux appartenant aussi à l'échantillon n° 5 : 3  
 Nbre d'animaux appartenant aussi à l'échantillon n° 6 : 3  
 Nbre d'animaux appartenant aussi à l'échantillon n° 7 : 2  
 Nbre d'animaux appartenant aussi à l'échantillon n° 8 : 10  
 Nbre d'animaux appartenant aussi à l'échantillon n° 9 : 9  
 Nbre d'animaux appartenant aussi à l'échantillon n° 10 : 12  
 Nbre d'animaux appartenant aussi à l'échantillon n° 11 : 18  
 Nbre d'animaux appartenant aussi à l'échantillon n° 12 : 35

FIGURE 3 : EXEMPLE DE CREATION DE FICHER

Fichier listé : C:\FREDERIC\JOLLY.JOL

Nombre d'occasions de capture : 13

Taille à priori de la population initiale : 0

n°	capturés	relachés	n°	capturés	relachés
1	54	54	2	146	143
3	169	164	4	209	202
5	220	214	6	209	207
7	250	243	8	176	175
9	172	169	10	127	126
11	123	120	12	120	120
13	142				

MATRICE DES RECAPTURES

Ech N°	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	10											
2	3	34										
3	5	18	33									
4	2	8	13	30								
5	2	4	8	20	43							
6	1	6	5	10	34	56						
7	0	4	0	3	14	19	46					
8	0	2	4	2	11	12	28	51				
9	0	0	1	2	3	5	17	22	34			
10	1	2	3	1	0	4	8	12	16	30		
11	0	1	3	1	1	2	7	4	11	16	26	
12	0	1	0	2	3	3	2	10	9	12	18	35

FIGURE 4 : EXEMPLE DE LISTAGE D'UN FICHER  
(données de JOLLY)

Le programme affiche tout d'abord les données correspondant au nombre total d'animaux capturés à chaque occasion. Un numéro (correspondant à l'occasion de capture) affecte chaque valeur. Si une valeur doit être corrigée, répondre O à la question "CORRECTIONS (O/N) : ". Le programme demande alors le numéro de la valeur à corriger. Il affiche cette valeur et demande la nouvelle valeur (fig.5 a). Le programme réaffiche ensuite toutes les données avec la correction effectuée et repose la question "CORRECTIONS (O/N) : ". Pour arrêter le processus de correction, répondre N.

A ce moment, le programme affiche les données correspondant au nombre total d'animaux relâchés à chaque occasion. Le processus de correction est le même que précédemment.(fig.5 b)

Puis le programme affiche la matrice des recaptures. Une ligne correspond à une capture. Chaque ligne indique donc, pour une capture donnée, le nombre d'animaux recapturés et marqués au cours des occasions précédentes.

Le programme demande alors "CORRECTIONS (O/N)". Si on répond O (=oui), le programme demande le numéro de la colonne dans laquelle se trouve la valeur à corriger, puis le numéro de la ligne. Il affiche cette valeur et demande d'introduire la nouvelle valeur (fig.5 c). Comme précédemment, le processus de correction est arrêté si on répond N à la demande de correction.

Si tel est le cas, le programme retourne au menu général.

### 2.3 - Calcul des paramètres du modèle.

La procédure de demande de nom de fichier est la même que précédemment.

Les calculs des estimations apparaissent à l'écran. Comme pour le listage du fichier, une option "IMPRESSION SUR IMPRIMANTE" est prévue. Un exemple de sortie est donné à la figure 6. Si l'utilisateur ne désire pas de sortie sur l'imprimante, le programme réaffiche le menu général.

### 2.4 - Mises en garde.

- 1 - Lors de la création d'un fichier, bien vérifier que le nom donné n'existe pas déjà. Aucune vérification de l'existence d'un même nom de fichier n'a été prévue dans le programme et le nouveau fichier détruira l'ancien en cas de conflit nominal.
- 2 - Ne pas oublier : jamais mettre d'extension au nom de fichier. Le programme se charge de rajouter l'extension ".JOB" à tous les fichiers qu'il peut traiter.

Fichier à corriger : C:\FREDERIX\JULY.JUL

Nombre d'animaux capturés à chaque occasion :

N° 1 = 54	N° 2 = 146	N° 3 = 169	N° 4 = 209
N° 5 = 220	N° 6 = 209	N° 7 = 250	N° 8 = 176
N° 9 = 175	N° 10 = 127	N° 11 = 123	N° 12 = 120
N° 13 = 142			

CORRECTIONS (O/N) : 0

Numéro de la valeur à corriger : 9

ANCIENNE VALEUR : 175

NOUVELLE VALEUR : 172

a

Nombre d'animaux relâchés à chaque occasion :

N° 1 = 54	N° 2 = 143	N° 3 = 164	N° 4 = 202
N° 5 = 214	N° 6 = 207	N° 7 = 243	N° 8 = 175
N° 9 = 169	N° 10 = 126	N° 11 = 120	N° 12 = 120

CORRECTIONS (O/N) :

b

MATRICE DES RECAPTURES

Ech N°	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	10											
2	3	34										
3	5	18	33									
4	2	8	13	30								
5	2	4	8	20	43							
6	1	6	5	10	34	56						
7	0	4	0	3	14	19	46					
8	0	2	4	2	15	12	28	51				
9	0	0	1	2	5	5	17	22	34			
10	1	2	3	1	0	4	8	12	16	30		
11	0	1	5	1	1	2	7	4	11	16	26	
12	0	1	0	2	3	3	2	10	9	12	18	35

CORRECTIONS (O/N) : 0

Numéro de la colonne à corriger : 3

Numéro de la ligne : 8

ANCIENNE VALEUR : 15

NOUVELLE VALEUR : 11

c

FIGURE 5 : EXEMPLE DE CORRECTION DE FICHIER

ESTIMATION DES PARAMETRES D'UNE POPULATION :  
Méthode de JOLLY-SEBER

Fichier analysé : C:\FREDERIC\JOLLY.JOL

	% T marq. (i)(alpha)	Total marq. (M)	Nbre total (N)	Proba. survie (PHI)	Nbre immig. (B)	ET(N)	ET(Ø)	ET(B)	Composantes de ET(N) ET(Ø)	
1		0.0		0.6486			0.1103			0.0891
2	0.0685	35.0	511.4	1.0150	263.0	149.9	0.1108	178.8	149.5	0.1112
3	0.2189	170.5	779.0	0.8671	291.8	130.1	0.1076	138.9	129.7	0.1057
4	0.2679	258.0	962.9	0.5637	406.5	141.6	0.0627	122.1	141.0	0.0577
5	0.2409	227.7	945.3	0.8360	96.8	124.0	0.0745	113.6	122.8	0.0721
6	0.3684	325.0	882.1	0.7901	107.1	97.1	0.0715	76.3	95.3	0.0689
7	0.4480	359.5	802.5	0.6510	135.6	75.2	0.0575	56.9	72.8	0.0533
8	0.4886	319.3	653.5	0.9848	-13.8	62.8	0.0961	54.0	60.1	0.0959
9	0.6395	402.1	628.8	0.6862	49.0	63.5	0.0813	35.7	60.8	0.0784
10	0.6614	316.4	478.4	0.8844	84.1	52.4	0.1212	40.5	49.5	0.1200
11	0.6260	317.0	506.4	0.7714	74.5	66.3	0.1291	40.7	64.2	0.1272
12	0.6000	277.7	462.9			70.0			68.2	
13	0.6690									

FIGURE 6 : ESTIMATION DES PARAMETRES ET DES ECARTS-TYPE  
ASSOCIES

## CONCLUSION

Le programme présenté ici n'est peut-être pas optimal. Il permet cependant de traiter rapidement des données de terrain pour estimer les paramètres démographiques de populations sur lesquelles des marquages et des recaptures sont possibles. Le modèle de JOLLY-SEBER, programmé ici, a été largement utilisé depuis sa formulation, sur des populations animales diverses. L'auteur a d'ailleurs appliqué la méthode à des populations de moustiques (LARDEUX; 1987).

On peut contacter l'auteur de ce rapport pour tout renseignement complémentaire ou pour la fourniture sur disquette du programme.

---

## BIBLIOGRAPHIE

- ANDERSON D.R., KIMBALL C.F., FICHER F.R. - 1974 - A computer program for estimating survival and recovery rates. J. Wild. Manag. 38 : 369-370.
- ARNASON A.N., BANIUK L. - 1978 - POPAN-2, A Data Maintenance and Analysis System for Recapture Data, release 3.
- BROWNE C., ANDERSON D.R., BURNHAM K.P., ROBSON D.S. - 1978 - Statistical inference from band recovery data : A handbook. U.S. Fish and Wild. Serv., Resour. Publ. n° 131 : 212 p.
- DAVIES R.G. - 1971 - Computer Programming in Quantitative Biology. Academic Press : London and New York.
- JOLLY G.M. - 1965 - Explicit estimates from capture-recapture data with both death and immigration - stochastic model. Biometrika 52 : 225-247.
- LARDEUX F. - 1987 - Lutte biologique contre Aedes polynesiensis avec le copépode Mesocyclops aspericornis. Expérimentation à Rangiroa. I- Etude avant traitement - traitement. Doc. ITRMLM 13 / 87 / ITRM / Doc-ent : 69 p.
- MANLY B.J.F. - 1984 - Obtaining confidence limits on parameters of the Jolly-Seber model for capture-recapture data. Biometrics 40 : 749-758.
- SEBER G.A.F. - 1965 - A note on the multiple recapture census. Biometrika 52 : 249-259.
- SEBER G.A.F. - 1984 - The estimation of animal abundance and related parameters. Charles Griffin and Co Ltd (Ed.). Second edition : 654 p.
- WHITE E.G. - 1971 a - A versatile FORTRAN computer program for the capture-recapture stochastic model of G.M. JOLLY. J. Fish. Res. Board Can. 28 : 443-446.
- WHITE E.G. - 1971 b - A computer program for the capture-recapture studies of animal populations : a Fortran listing for the stochastic model of G.M. JOLLY. New Zealand Tussock Grasslands and Mountain Lands Institute Spec. Publ. N° 8 : 33 p.



ANNEXE

PROGRAMME JOLSEB1

Estimation des paramètres démographique d'une population  
selon la méthode de JOLLY - SEBER

```

10 / ++++++
20 /
30 /          PROGRAMME JOLSEB1
40 /
50 /          Source : JOLLY G.M. - 1965 - Biometrika 52 : 225-247
60 /
70 /          Programme : F.LARDEUX
80 /
90 /
100 / ++++++
110 KEY OFF
120 CLS
130 PRINT TAB(30)"PROGRAMME JOLSEB1"
140 PRINT
150 PRINT "          Estimation des paramètres d'une population par marquages-recap
ures"
160 PRINT "                                selon la méthode de JOLLY-SEBER"
170 PRINT
180 PRINT TAB(20)"-----"
190 PRINT :PRINT
200 PRINT "          SOURCE      : JOLLY G.M. - 1965 - Explicit estimates from c
apture"
210 PRINT "                                -recapture data with both death and immigra
tion -
                                stochastic model"
220 PRINT "                                Biometrika 52 : 225 - 247"
230 PRINT
240 PRINT "          SEBER G.A.F. - 1965 - A note on the multiple
ecapture "
250 PRINT "                                census"
260 PRINT "                                Biometrika 52 : 249 - 259"
270 PRINT :PRINT
280 PRINT "          PROGRAMME : Frédéric LARDEUX
290 PRINT "                                Centre ORSTOM - BP 529
300 PRINT "                                Papeete - Tahiti
310 PRINT :PRINT
320 INPUT "Faites un 'retour-chariot' pour continuer ... ",A$
330 /
340 /
350 DIM N(25),S(25),N1(25,25),A(25,25),R(25),Z(25),M(25),M1(25),ALPHA(25),N2(25
,PHI(25),B(25),N3(25,25),SENN(25),SEN(25),SEPHI(25),SEB(25),CPHI(25),T(2
360 /
370 CLS
380 PRINT
390 PRINT TAB(30)"PROGRAMME JOLSEB1"
400 PRINT
410 PRINT TAB(5)"Estimation des paramètres d'une population par marquages-reca
tures"
420 PRINT :PRINT TAB(20)"-----"
430 PRINT :PRINT:PRINT:PRINT
440 PRINT TAB(20)"Création de fichier ..... 1"
450 PRINT TAB(20)"Listage d'un fichier ..... 2"
460 PRINT TAB(20)"Corrections dans un fichier ..... 3"
470 PRINT TAB(20)"Estimation des paramètres ..... 4"
480 PRINT
490 PRINT TAB(20)"Fin du programme ..... 5"
500 PRINT :PRINT :PRINT
510 PRINT TAB(25); : INPUT "NUMERO CHOISI : ",CREAT

```

```

520 IF CREAT<1 OR CREAT>5 THEN 510
530 IF CREAT = 5 THEN END
540 GOSUB 3120
550 ON CREAT GOTO 580,1000,1360,1790
560 END
570 '=====
580 '=====CREATION DE FICHIER=====
590 '
600 CLS
610 PRINT
620 PRINT TAB(30) "CREATION DE FICHIER"
630 PRINT :PRINT
640 PRINT "Fichier créé : ";FICHIER$
650 OPEN "O",#1,FICHIER$
660 PRINT
670 INPUT "1 ..... Nombre d'occasions de capture: ",T(1)
680 PRINT "2 ..... Taille à priori de la population initiale"
690 INPUT "(on peut laisser 0): ",T(2)"
700 CORR = 1 : GOSUB 3240 :IF R$="N" OR R$="n" THEN 760
710 PRINT
720 PRINT "1 ..... Nombre d'occasions de capture: ";T(1)
730 PRINT "2 ..... Taille à priori de la population initiale : ";T(2)
740 GOSUB 3240
750 IF R$="O" OR R$="o" THEN 710
760 L = T(1) : P1 = T(2)
770 PRINT #1,L,P1
780 PRINT : PRINT
790 LM = L - 1
800 FOR I = 1 TO L
810 PRINT "Echantillon n° ";I
820 INPUT "Nombre d'animaux capturés : ",N(I) : PRINT
#1,N(I)
830 IF I = L THEN 870 ELSE INPUT "Nombre relachés
: ",S(I)
840 IF S(I)>N(I) THEN PRINT "ERREUR : cette valeur doit être inférieure ou égal
au nbre d'animaux capturés":GOTO 830
850 PRINT #1,S(I)
860 PRINT
870 NEXT I
880 FOR I = 2 TO L
890 IM = I - 1
900 PRINT :PRINT "Dans l'échantillon n° ";I;","
910 FOR J = 1 TO IM
920 PRINT "Nbre d'animaux appartenant aussi à l'échantillon n° ";J; :
NPUT " : ",N1(I,J) : PRINT #1,N1(I,J)
930 NEXT J
940 NEXT I
950 CLOSE
960 GOTO 370
970 '=====
980 '=====LISTAGE=====
990 '
1000 CLS
1010 OPEN "SCRN:" FOR OUTPUT AS #2
1020 OPEN "I",#1,FICHIER$
1030 PRINT #2,"Fichier listé : ";FICHIER$
1040 PRINT #2,""

```

```

1050 INPUT #1,L:PRINT #2,"Nombre d'occasions de capture           : ";L
1060 INPUT #1,P1:PRINT #2,"Taille à priori de la population initiale : ";P1
1070 PRINT #2 ,""
1080 LM = L - 1
1090 PRINT #2,"          n°          capturés          relachés |          n°          capturés
          relachés"
1100 PRINT #2,"-----"
1110 FOR I = 1 TO L
1120 PRINT #2,USING "#####";I;
1130     INPUT #1,N(I) : PRINT #2 ,USING "#####";N(I);
1140     IF I = L THEN 1150 ELSE INPUT #1,S(I):PRINT #2,USING "#####";
(I);:IF (I=1 OR (I MOD 2)<>0 )THEN PRINT #2," |"; ELSE PRINT #2," |"
1150 NEXT I
1160 PRINT #2, ""
1170 PRINT #2, "":PRINT #2, "MATRICE DES RECAPTURES"
1180 PRINT #2, "Ech N°"; : FOR I=2 TO L : PRINT #2,USING "#####";I;:NEXT I:PRIN
#2, ""
1190 PRINT #2,"-----"
1200 FOR I = 2 TO L
1210     IM = I - 1
1220 PRINT #2,USING "####";IM;:PRINT #2," |";
1230     FOR J = 1 TO IM
1240         INPUT #1,N1(I,J) : PRINT #2,USING "#####";N1(I,J);
1250     NEXT J
1260 PRINT #2 , ""
1270 NEXT I
1280 CLOSE
1290 PRINT :INPUT "SORTIE SUR IMPRIMANTE (O/N) : ",R$
1300 IF R$<>"O" AND R$<>"o" AND R$<>"N" AND R$<>"n" THEN 1290
1310 IF R$="O" OR R$="o" THEN CLOSE : OPEN "LPT1"FOR OUTPUT AS #2:GOTO 1020
1320 CLOSE
1330 GOTO 370
1340 '=====
1350 '===== CORRECTIONS =====
1360 CLS
1370 PRINT :PRINT "Fichier à corriger : ";FICHIER$ : PRINT
1380 OPEN "I",#1,FICHIER$
1390 INPUT #1,L,P1
1400 FOR I = 1 TO L -1 : INPUT #1,N(I),S(I):NEXT I:INPUT #1,N(L)
1410 PRINT :PRINT
1420 PRINT "Nombre d'animaux capturés à chaque occasion : "
1430 PRINT
1440 FOR I = 1 TO L
1450     PRINT TAB((I-1)*20)"N° ";I;" = ";N(I);
1460 NEXT I
1470 PRINT
1480 CORR = 2
1490 GOSUB 3240
1500 IF R$ ="N" OR R$="n" THEN 1510 ELSE GOTO 1410
1510 PRINT :PRINT
1520 PRINT "Nombre d'animaux relachés à chaque occasion : "
1530 PRINT
1540 FOR I = 1 TO L -1: PRINT TAB((I-1)*20)"N° ";I;" = "; S(I);:NEXT I:PRINT
1550 CORR = 3
1560 GOSUB 3240

```

```

1570 IF R$ ="N" OR R$="n" THEN 1580 ELSE GOTO 1510
1580 FOR I = 2 TO L:IM=I-1:FOR J=1 TO IM:INPUT #1,N1(I,J):NEXT J:NEXT I:CLOS
1590 PRINT
1600 PRINT "MATRICE DES RECAPTURES"
1610 PRINT "Ech N°"; : FOR I=2 TO L : PRINT USING "#####";I;:NEXT I:PRINT
1620 PRINT "-----"
1630 FOR I = 2 TO L
1640     IM = I - 1
1650 PRINT USING "####";IM;:PRINT " |";
1660     FOR J = 1 TO IM
1670         PRINT USING "#####";N1(I,J);
1680     NEXT J:PRINT
1690 NEXT I
1700 CORR = 4
1710 GOSUB 3240
1720 IF R$ ="N" OR R$="n" THEN 1730 ELSE GOTO 1590
1730 OPEN "O",#1,FICHER$
1740 PRINT #1,L,P1
1750 FOR I=1 TO L-1 : PRINT #1,N(I),S(I):NEXT I:PRINT #1,N(L)
1760 FOR I = 2 TO L:IM=I-1:FOR J=1 TO IM:PRINT #1,N1(I,J):NEXT J:NEXT I:CLOS
1770 GOTO 370
1780 '===== CALCULS =====
1790 OPEN "I",#1,FICHER$
1800 INPUT #1,L,P1
1810 FOR I=1 TO L-1 : INPUT #1,N(I),S(I):NEXT I : INPUT #1,N(L)
1820 FOR I = 2 TO L
1830     IM = I-1
1840     FOR J = 1 TO IM : INPUT #1,N1(I,J) : NEXT J
1850 NEXT I
1860 CLOSE
1870 LM = L-1 :FOR I = 1 TO LM
1880     SUM = 0
1890     IP = I+1
1900     FOR J = IP TO L
1910         SUM = SUM + N1 (J,I)
1920     R(I) = SUM
1930 NEXT J
1940 NEXT I
1950 '
1960 FOR I = 2 TO L
1970     SUM =0
1980     IM =I-1
1990     FOR J=1 TO IM
2000     SUM = SUM + N1(I,J)
2010     A(I,J) = SUM
2020 NEXT J
2030 NEXT I
2040 '
2050 LM2 = L-2
2060 FOR I = 1 TO LM2
2070     SUM =0
2080     IP2 = I+2
2090     FOR J = IP2 TO L
2100     SUM = SUM + A(J,I)
2110 NEXT J
2120     Z(I+1) = SUM

```

```

2130 NEXT I
2140 M(1) = 0
2150 FOR I = 2 TO L
2160 M(I) = A(I, I-1)
2170 NEXT I
2180 '
2190 FOR I = 2 TO LM
2200 M1(I) = S(I)*Z(I)/R(I) + M(I)
2210 ALPHA(I) = M(I)/N(I)
2220 N2(I) = M1(I) / ALPHA(I)
2230 NEXT I
2240 ALPHA(L) = M(L) / N(L)
2250 M1(1) = 0
2260 N2(1) = N2(2)
2270 IF (P1 > 0) THEN N2(1) = P1
2280 FOR I = 1 TO LM2
2290 PHI(I) = M1(I+1)/(M1(I)-M(I)+S(I))
2300 B(I) = N2(I+1) - PHI(I) * (N2(I) - N(I)+S(I))
2310 NEXT I
2320 '
2330 FOR I = 2 TO LM
2340 N3(I, I) = B(I-1)
2350 IP = I+1
2360 FOR J = IP TO LM
2370 N3(J, I) = (N2(J)-B(J-1)) / N2(J-1)*N3(J-1, I)
2380 NEXT J
2390 NEXT I
2400 N3(1, 1) = N2(1)
2410 FOR J = 2 TO LM2
2420 N3(J, 1) = (N2(J) - B(J-1)) / N2(J-1) * N3(J-1, 1)
2430 NEXT J
2440 '
2450 FOR I = 2 TO LM
2460 SIGMA = N3(I, 1)*N3(I, 1) / N2(1)
2470 FOR J = 2 TO I
2480 SIGMA = SIGMA + N3(I, J)*N3(I, J) / B(J-1)
2490 NEXT J
2500 Q = N2(I) * (N2(I) - N(I)) * ((M1(I)-M(I) + S(I)) / M1(I) * (1/R(I)-1/S(I))
+ (1-ALPHA(I))/M(I))
2510 SENN(I) = SQR(Q)
2520 SEN(I) = SQR(Q+N2(I)-SIGMA)
2530 NEXT I
2540 FOR I = 2 TO LM2
2550 T = (M1(I+1)-M(I+1)) * (M1(I+1)-M(I+1)+S(I+1)) / M1(I+1) ^2 * (1/R(I+1)-1/
(I+1))
2560 U = (M1(I)-M(I)) / (M1(I)-M(I)+S(I)) * (1/R(I) - 1/S(I))
2570 SEPHI(I) = SQR(PHI(I)^2 * (T+U+(1-PHI(I))/M1(I+1)))
2580 SEB(I) = SQR( B(I)^2*T+U*(PHI(I)*S(I)*(1-ALPHA(I))/ALPHA(I))^2 + (N2(I)-N(
I))*(N2(I+1)-B(I))*(1-ALPHA(I))*(1-PHI(I))/M1(I)-M(I)+S(I)+N2(I+1)* (N2(I+1)-
(I+1))*(1-ALPHA(I+1))/M(I+1)+PHI(I)^2*N2(I)*(N2(I)-N(I))*(1-ALPHA(I))/M(I))
2590 NEXT I
2600 SEPHI(1) = SQR(PHI(1)^2 * ((M1(2)-M(2))*(M1(2)-M(2)+S(2))/M1(2)^2*(1/R(2)-1/
/S(2)) + (M1(1)-M(1))/(M1(1)-M(1)+S(1))*(1/R(1)-1/S(1)) + (1-PHI(
1))/M1(2)))
2610 FOR I = 1 TO LM2
2620 CPHI(I) = SQR(SEPHI(I)^2 - PHI(I)^2*(1-PHI(I))/M1(I+1))
2630 NEXT I

```

```

2640 /
2650 /
2660 / ..... SORTIE DES RESULTATS .....
2670 OPEN "SCRN:" FOR OUTPUT AS #1
2680 CLS
2690 PRINT #1,""
2700 PRINT #1,TAB(20)"ESTIMATION DES PARAMETRES D'UNE POPULATION : "
2710 PRINT #1,TAB(20)"          Methode de JOLLY-SEBER"
2720 PRINT #1,""
2730 PRINT #1,"Fichier analysé : ";FICHIER$ : PRINT #1,""
2740 PRINT #1,"          %      Total      Nbre Proba.      Nbre
Composantes de"
2750 PRINT #1," T  marq.      marq.      total survie  immig.  ET(N)  ET(Ø)  ET(B
ET(N)  ET(Ø)"
2760 PRINT #1," (i)(alpha)  (M)      (N)  (PHI)  (B)"
2770 PRINT #1,"-----"
-----"
2780 PRINT #1," 1          ";;PRINT #1,USING "#####. #";M1(1);; PRINT #1,"
";;PRINT #1,USING "#.####";PHI(1);;PRINT #1,"          ";;PRINT #1,USIN
"#.####";SEPHI(1);
2790 PRINT #1,"          ";;PRINT #1,USING "#.####";CPHI(1)
2800 FOR I = 2 TO LM2
2810 PRINT #1,USING "###";I;
2820 PRINT #1," ";;PRINT #1,USING "#.####";ALPHA(I);
2830 PRINT #1," ";;PRINT #1,USING "#####. #";M1(I);
2840 PRINT #1," ";;PRINT #1,USING "#####. #";N2(I);
2850 PRINT #1," ";;PRINT #1,USING "#.####";PHI(I);
2860 PRINT #1," ";;PRINT #1,USING "#####. #";B(I);
2870 PRINT #1," ";;PRINT #1,USING "#####. #";SEN(I);
2880 PRINT #1," ";;PRINT #1,USING "#.####";SEPHI(I);
2890 PRINT #1," ";;PRINT #1,USING "#####. #";SEB(I);
2900 PRINT #1," ";;PRINT #1,USING "#####. #";SENN(I);
2910 PRINT #1," ";;PRINT #1,USING "#.####";CPHI(I)
2920 NEXT I
2930 PRINT #1,USING "###";LM;
2940 PRINT #1," ";;PRINT #1,USING "#.####";ALPHA(L-1);
2950 PRINT #1," ";;PRINT #1,USING "#####. #";M1(L-1);
2960 PRINT #1," ";;PRINT #1,USING "#####. #";N2(L-1);
2970 PRINT #1,"          ";
2980 PRINT #1," ";;PRINT #1,USING "#####. #";SEN(L-1);
2990 PRINT #1,"          ";
3000 PRINT #1," ";;PRINT #1,USING "#####. #";SENN(L-1)
3010 PRINT #1,USING "###";L;
3020 PRINT #1," ";;PRINT #1,USING "#.####";ALPHA(L)
3030 PRINT #1,""
3040 INPUT "SORTIE SUR IMPRIMANTE (O/N) : ",R$
3050 IF (R$<>"O" AND R$<>"o" AND R$<>"N" AND R$<>"n") THEN 3040
3060 IF R$="O" OR R$="o" THEN CLOSE:OPEN "LPT1:"FOR OUTPUT AS #1: GOTO 2690
3070 CLOSE
3080 GOTO 370
3090 END
3100 /===== SOUS PROGRAMME DE DEMANDE DE FICHIER =====
3110 /
3120 IF FICHIER$ = "" THEN 3130 ELSE 3160
3130 PRINT :INPUT "NOM DU FICHIER (Avec le chemin d'accès complet) : ",FICHIER$
3140 IF FICHIER$ = "" THEN 3130
3150 FICHIER$ = FICHIER$ + ".JUL" : RETURN

```

```

3160 IF CREAT = 1 THEN 3130
3170 PRINT :PRINT "Le fichier par défaut est : ";FICHIER$
3180 INPUT "Est-ce votre fichier de travail (O/N) : ",R$
3190 IF (R$<>"O" AND R$<>"N" AND R$<>"o" AND R$<>"n") THEN 3180
3200 IF R$="O" OR R$="o" THEN RETURN
3210 GOTO 3130
3220 "=====
3230 '===== SOUS PROGRAMME DE CORRECTIONS =====
3240 PRINT
3250 INPUT "CORRECTIONS (O/N) : ",R$
3260 IF (R$<>"O" AND R$<>"o" AND R$<>"N" AND R$<>"n") THEN 3250
3270 IF R$="N" OR R$="n" THEN RETURN
3280 ON CORR GOTO 3290,3330,3380,3430
3290 INPUT "Numéro de la valeur à corriger : ",NL
3300 PRINT "ANCIENNE VALEUR : ",T(NL);: INPUT "          NOUVELLE VALEUR : ",T(
L)
3310 RETURN
3320 '
3330 INPUT "Numéro de la valeur à corriger : ",NL
3340 IF NL >L OR NL <=0 THEN 3330
3350 PRINT "ANCIENNE VALEUR : ";N(NL);: INPUT "          NOUVELLE VALEUR : ",N(
L)
3360 RETURN
3370 '
3380 INPUT "Numéro de la valeur à corriger : ",NL
3390 IF NL >L-1 OR NL <=0 THEN 3380
3400 PRINT "ANCIENNE VALEUR : ";S(NL);: INPUT "          NOUVELLE VALEUR : ",S(
L)
3410 RETURN
3420 '
3430 INPUT "Numéro de la colonne à corriger : ",NC
3440 IF NC > L OR NC <2 THEN 3430
3450 INPUT "Numéro de la ligne          : ",NL
3460 IF NL > L-1 OR NL <1 THEN 3450
3470 PRINT "ANCIENNE VALEUR : ";N1(NL+1,NC-1);: INPUT "          NOUVELLE VALEUR : "
N1(NL+1,NC-1)
3480 RETURN
3490 '+++++

```